



熊 森 编著

农村电网的 无功补偿 和线路损耗



广东科技出版社

农村电网的无功补偿和线路损耗

熊 森 编著

广东科技出版社

农村电网的无功补偿和线路损耗

熊 森 编著

•

广东科技出版社出版

广东省新华书店发行

广东阳春印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.75印张 150,000字

1985年3月第1版 1985年6月第1次印刷

统一书号 15182·94 定价1.45元

内 容 简 介

本书结合我国农村电力网的实际情况，阐述了无功补偿原理，着重介绍了电力电容器的技术性能、计算方法、安装、运行维护的知识，并对电力电容器进行无功负荷的合理补偿、电容器组的继电保护作了论述。

书中还比较全面地阐述了农村电网的规划设计、运行管理方面的知识。

此外，本书对农村电网的线路损耗作了较详尽的论述，分析了农村电网线损的一些实际问题，介绍了几种常用的线损计算方法，每种计算方法都有例题。通过本书，读者可以基本掌握线损的计算方法。书中还介绍了经过实践证明可行的线损速算法。

本书力求文字通俗易懂，计算方法简单易学，可供初中文化程度以上的农村电工阅读，也可供供电部门和工业企业气电技术人员参考。

目 录

前 言	1
第一章 无功补偿概述	3
第一节 什么是无功功率	3
第二节 功率因数 $\cos\varphi$	6
第三节 无功功率与农村电网的关系	10
第四节 农村电力负荷的特点和对功率因数的要求	13
第五节 无功补偿的几种办法	16
第二章 补偿电容器	18
第一节 基本概念	18
第二节 电容器是怎样提高功率因数的	24
第三节 功率因数提高对农村电网的作用	25
第四节 补偿容量的确定	28
第五节 补偿电容器的结构和绝缘介质	41
第六节 补偿电容器的保护和控制	44
第七节 补偿电容器的接线方式	59
第八节 电容器的自动投切装置	63
第九节 并补和串补电容器的比较	70
第三章 补偿电容器运行中应注意的问题	74
第一节 过电压问题	74
第二节 过电流和过热问题	76
第三节 铁磁谐振问题	77
第四节 电网谐波对电容器组的影响	78
第五节 电容器的常见故障	80

第六节	电容器的涌流和防止对策	83
第七节	电容器组运行的要点	84
第八节	补偿电容器的经济效益	87
第四章	补偿电容器的安装	90
第一节	安装地点的选择	90
第二节	防火问题及措施	92
第三节	户内式和半露天布置	96
第四节	安装时应注意的问题	98
第五节	电容器的检查和试验	99
第五章	集中补偿和分散补偿	102
第一节	什么是集中补偿和分散补偿	102
第二节	分散补偿的优越性	104
第三节	集中补偿和分散补偿的合理配置	108
第四节	分散补偿与集中补偿相结合经济效益实例	110
第五节	就地补偿	112
第六章	农村无功的电力规划问题	114
第一节	无功功率平衡的基本原则	114
第二节	补偿容量的合理配置	119
第三节	独立小水电网的无功补偿规划	120
第七章	农村电网线路损耗概述	124
第一节	农村电网线损管理现状	124
第二节	10千伏农电系统的特点	126
第八章	线损的基本计算	128
第一节	开展线损理论计算的目的和作用	128
第二节	电损计算的基本公式	129
第三节	实用线损计算书	141

第九章 经济电损及其计算	150
第一节 经济负荷电流	150
第二节 经济电损计算的分析	155
第十章 变压器的效率与电能损失	158
第一节 变压器的经济负荷率	159
第二节 怎样选择配电变压器	160
第三节 变压器电损计算实例	163
第十一章 线损的简化计算	168
第一节 概述	168
第二节 电度分摊法	172
第三节 无功损耗的简化计算	177
第四节 利用电压损失率测算线损	189
第五节 等值电阻法和有功功率分布法	201
第十二章 降低电损的有关问题和措施	211
第一节 影响线损的因素及有关技术问题	211
第二节 降低线损的技术和管理措施	216
第三节 运行电压与降损节电的关系	223
第四节 山区独立小电网降低线损的措施	226
附录 常用技术术语和公式	229
常用技术术语	229
常用公式	232
主要参考资料	239

前 言

建国以来，农村的电力建设取得很大的进展。以三十五千伏电压等级为输电主干线路，以十千伏电压等级为配电线路的农村电力网已基本形成。全国农村有百分之八十的区和百分之六十以上的乡已经用上了电，大部分农村基本上实现了排灌、农副产品加工等电气化，使农民在一定程度上从过去繁重的体力劳动中解放出来。但是，有些农村电网缺乏科学管理，还存在不少问题。最突出的问题是无功功率严重不足和线路损耗计算混乱，这给农村电网的安全经济运行带来了不良的后果，妨碍了农村电网的进一步发展，影响了农业电气化的进程。

据各地反映，农村迫切需要一本介绍无功补偿和线损计算的书，供电网工作人员参考。这本小册子就是为了适应这种需要而编写的。

本书力求以通俗的语言介绍农村电网无功补偿和线损计算问题。着力讲清物理概念，避免繁琐的数学公式推导，使一般具有初中文化程度的人能够看懂，进而掌握无功补偿的要领和线路损耗的计算方法。

在论述无功补偿的原理和线损计算的基础知识时，力求从总结生产实践经验入手，介绍各地行之有效的管理办法和技术措施，有的放矢地解决无功补偿和线损计算中常碰到的实际问题。书中还结合内容，选编了一些计算例题，供读者计算时借鉴；一些容易混淆的技术名词和计算中的常用公式

汇编在最后一章，以方便读者查阅。

由于作者水平有限，缺点和错误在所难免，热诚地希望广大读者提出宝贵意见。

第一章 无功补偿概述

无功功率和有功功率一样，是保证农村电网电能质量和安全供电所不可缺少的。无功功率不足将使农村电网的电压降低、损坏用电设备或使电气设备降低出力，严重时将造成电压崩溃，使电网瓦解而引起大面积停电，给农业生产带来巨大损失。因此，保证农村电网的无功功率是非常重要的。

第一节 什么是无功功率

联接在农村电力网上的一切用电设备所消耗的功率称为农村电力负荷。农电负荷分为有功负荷和无功负荷两种。

有功功率比较容易理解，它是电力在电气设备中转换为其他形式能量的电功率。比如五十千瓦的电动机就是把五十千瓦的电能转换为机械能，去开动车床或推动水泵抽水、排水。有功功率的符号用 P 或 p 表示，单位为瓦（W）或千瓦（kW）。

无功功率就比较抽象，它不象有功功率那样看得见、摸得着。它是在电路和用电设备中用来建立交变电磁场的电功率，它不对外作功，而是转变为其他形式的能量。说得简单一点，就是凡有电磁线圈的地方，要建立电磁场，就要消耗无功功率。比如照明用的四十瓦日光灯，除需要四十瓦的有功功率来发光外，还需要八十乏左右的无功功率供镇流器的线圈建立交变磁场用。无功功率和有功功率同样重要，只

是由于无功功率不作功，它仅完成电磁能量的相互转换、反映出交流电路中电感和电容与电源间进行能量交换的规模，并不需要消耗燃料或水能。从这个意义出发，才称之为“无功”。无功功率的符号用 Q 或 q 表示，单位为乏（VAR）或千乏（kVAR）。

有人把无功功率误认为“没有用的功率”，这是不对的。无功功率决不是没有用的功率，它的用处大得很。电动机为了带动机械，需要在它的转子上产生磁场，通过电磁感应，在电动机转子中感应出电流，使转子转动，从而带动机械运转。电动机的转子磁场就是靠从电源取得无功功率建立的。变压器也同样需要消耗无功，才能使变压器的一次线圈产生磁场，在二次线圈中感应出电压。因此，没有无功功率，电动机就不能转动，变压器也不能变压。

为了避免名词上的误解，有人把无功功率称为交换性功率，这是很确切的。因为无功功率在一段时间内是从电源取得能量，而另一段时间又把用电设备中磁场或电场的能量，以感应电流的形式还给电源。如果忽略电路中的损耗，无功功率并没有消耗掉，而是在电源和用电设备之间以电—磁—电的方式互相交换。

为了形象地介绍这种能量的交换情况，可用下面的图来说明。

图 1-1 (a) 说明，电源发出的有功功率全部转换为电灯的光能和热能。这种转换是单方向的，是不可逆的。

图 1-1 的 (b) 和 (c) 分别表示电源接出后是纯电感性负荷和纯电容性负荷。在一段时间内，电感线圈或电容从电源取得能量，建立磁场或电场，而在另一段时间内，又把磁场或电场的能量还给电源。这就是说，无功功率在电源与用电

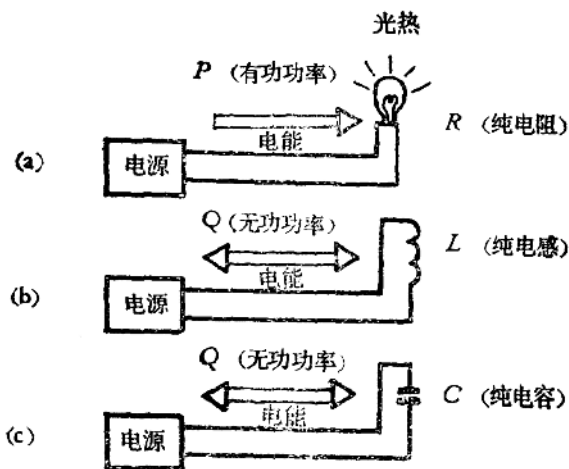


图 1-1 电源与有功负荷和无功负荷关系

设备之间来回交换。这种能量转换是可逆的。

在正常情况下，用电设备不但要从电源取得有功功率，同时还需要从电源取得无功功率。如果农村电网中的无功功率供不应求，用电设备就没有足够的无功功率来建立正常的电磁场，那么，这些用电设备就不能维持在额定情况下工作，用电设备的端电压就要下降。

电压下降对用电设备有很大影响。对异步电动机来说，随着端电压降低，电动机吸收的无功功率增加。当端电压太低时，电动机往往由于转矩太小而停止工作，或者带重负荷的电动机起动不了。在一定的机械荷载下，电动机的出力基本上不受电压影响，所以电压越低，电流就越大，使电动机线圈的温度升高，加速绝缘老化，缩短电动机的使用寿命。对电灯来说，当端电压变化时，光通量、发光效率和寿

命都会相应起变化。一般地说，当电压较额定值降低百分之五时，电灯的光通量要减少百分之十八，这就是电压降低时照明用灯泡总感觉不亮的原因；当电压较额定电压高出百分之五时，电灯泡的寿命要降为一半，这就是电压升高经常烧灯泡的原因。

在农村电网中，发电机和高压输电线是很重要的无功功率电源。但是仅仅依靠它们所发出的无功功率，远远满足不了负荷的需要。所以在农村电网中总要设置一些无功补偿装置来补充无功功率，以保证用户对无功功率的需要，这样用电设备才能维持在额定电压下工作。这就是农村电网需要装设无功补偿装置的道理。

第二节 功率因素 $\cos\varphi$

大多数电气设备输入电压与电流的乘积并不等于有功功率，这是因为电气设备不但要从电源取得有功功率，还需要从电源取得无功功率。因而，把电气设备输入电压与电流的乘积称为“视在功率”，以 S 表示。即

$$S = UI$$

视在功率的单位是伏安（VA）或千伏安（kVA）。

视在功率 S 和有功功率 P 及无功功率 Q 之间的关系，和直角三角形中斜边及两直角边的关系相同，见图1-2。

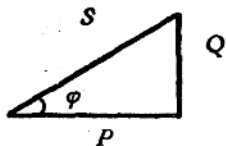


图1-2 功率三角形

如果在 S 、 P 、 Q 三个量之中，已知其中两个量，便可按直角三角形的规则，求出第三个量。直角三角形的一切数学性质完全

符合 S 、 P 、 Q 之间的关系。从功率三角形即有

$$P = S \cos \varphi \quad (1-1)$$

$$Q = S \sin \varphi \quad (1-2)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (1-3)$$

将式(1-1)变换,便可得到

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1-4)$$

有功功率与视在功率的比值,称为“功率因数”,也叫做“力率”。

视在功率 S 只表示发电机可能发出的最大的有功功率,实际应用时发出的有功功率还得看电路的参数如何而定。例如,容量为2.8千伏安的发电机,只有在 $\cos \varphi = 1$ 的电路中才能发出2.8千瓦的功率;若电路的 $\cos \varphi = 0.5$,则只能发出1.4千瓦。后者说明发电机未能充分发挥作用。从这个简单的例子可以看出,功率因数 $\cos \varphi$ 的大小,反映了电源发出的电能被利用的程度。功率因数 $\cos \varphi$ 越接近于“1”,表明用电设备需要的无功功率越少,有功功率越接近于视在功率,电源功率被利用得越充分。

视在功率 S 、有功功率 P 和无功功率 Q 是三个很重要的基本概念,一定要彻底弄清楚。为了说明这三者之间的关系,不妨举一个日常生活的例子来类比。农村中经常修建水利,修水利离不开挖方挑土。挑土时,把装满土的竹筐挑到堤坝上以后,还得把空竹筐挑回来。这时,挑走的土就好比是有功功率 P ,挑空竹筐就好比是无功功率 Q ,泥土和竹筐加在一起好比视在功率 S 。可见,挑竹筐来回往返,并不是没有用。没有竹筐,泥土怎样运到堤坝上去呢?

它们三者之间的关系是互相依存的,缺一不可。从上例

中，可以看到竹筐的无功功率 Q 决不是“没有用的功率”，它“载”着有功功率走。可见没有无功，有功也就不复存在了。要充分利用电能，就必须提高功率因数。提高功率因素 $\cos\varphi$ 的实质，就是减少对无功功率的需求。

在农村电网中，电动机负荷约占百分之七十左右，这些都是电感性负荷。电感性负荷通过输电导线连至电源。电感虽然不直接消耗功率，但当它与电源交换能量时，要在联接导线上引起功率消耗。就是说，电源向负荷输送的能量，除掉负荷中电阻成分消耗的以外，还包括电感中的磁场能，这后一部分能量虽然没有被消耗掉，而是经过一定时期后送回电源，这样，就要在联接导线上产生功率损耗。如果负载的电抗成分大，功率因数 $\cos\varphi$ 就低。对于远距离的输电系统，这部分在线路上的损耗是相当可观的。因此，必须在农电网的负荷侧提高其功率因数。对于电感性负荷，只要在负荷端并联一个大小适当的电容器，便可把功率因数提高到所需数值。这实质上就是让电磁场能量主要在电感性负荷与电容器之间进行交换，而不是在电源与负荷间进行交换，这就减少了线路上消耗的功率。

提高电路的功率因数，不但会使发电机发出的功率接近于容量，充分发挥发电机的作用，而且在功率因数提高后，

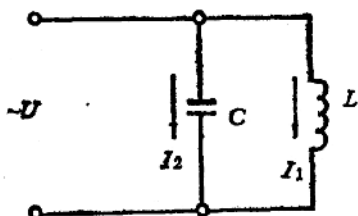


图 1-3 具有电感和电容的电路

总电流将变小，就会相应地减小线路上的功率损耗。为了说清楚这个问题，可参看下面的例题。

【例 1-1】在 50 周、380 伏的电路中，

接有电感性负荷，负荷的功率 $P = 20\text{kW}$ ，功率因数 0.6 ，试求电路中的电流？

如果负荷两端并联电容器 $C = 374\text{微法}$ ，求电路的电流及功率因数？具体接线见图 1-3。

解：设未并联电容器时电流为 $\dot{I}_1$ ，已知功率因数 $\cos\varphi = 0.6$ ，则根据式 (1-1)

$$\dot{I}_1 = \frac{P}{U \cos\varphi} = \frac{20 \times 10^3}{380 \times 0.6} = 87.7 \text{ A}$$

因为 $\varphi = \arccos 0.6 = 53.1^\circ$

所以 $\dot{I}_1 = 87.7 \angle -53.1^\circ \text{ A}$

接入电容后，设电容支路上的电流为 $\dot{I}_2$ ，则

$$\begin{aligned}\dot{I}_2 &= j\omega C \dot{U} = 2\pi \times 50 \times 374 \times 10^{-6} \times 380 \angle 90^\circ \\ &= 44.6 \angle 90^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

因为负荷支路的电流不变，故电路总电流 $\dot{I}$ 为

$$\begin{aligned}\dot{I} &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 56.62 - j70.16 + j44.6 \\ &= 58.5 \angle -26^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

此时电流滞后于电压的相位为

$$\varphi' = 26^\circ$$

所以 $\cos\varphi' = \cos 26^\circ = 0.9$

即并联电容器后，整个电路的功率因数从 0.6 提高到 0.9 ，电路的电流则从 87.7安 降为 58.5安 。

这个例题形象地说明了当电路的负荷端并联电容器后，功率因数提高，电路的电流减少。总电流变小必然相应地减小线路上的功率损耗。这就是提高功率因数对电路的意义及

实质。

功率因数对于无功补偿来说，是一个相当重要的基本概念。无功补偿的目的，就在于提高功率因数。因此，一定要透彻理解功率因数的含义及实质。

第三节 无功功率与农村电网的关系

农用负荷的最大特点是小型、分散。农村电网的主要用电设备是异步电动机，这些电动机的负载率一般都很低，大部分在百分之五十左右。

异步电动机为了在转子上建立旋转磁场，需要消耗大量的无功功率。同时，农村电网中的配电线路和变压器也要消耗无功功率，前者是在电力输送过程中的消耗无功功率，后者则是为了在变压器建立电磁场消耗无功功率。

对于配电变压器，如果运行中缺乏必要的技术管理制度，在轻负荷或空载情况下仍然投入，就将白白地消耗大量的空载无功功率。

一般农村无功补偿设备装得很少，无功主要靠发电机供给。而农村用电负荷往往远离发电厂，这就造成无功长距离输送，损耗很大，更加重了农村电网的无功负担，给农村电网的安全经济运行带来了不良的影响。

运行统计数字表明，农村电网中百分之六十的无功功率是为小型异步电动机建立三相旋转磁场所消耗掉的，百分之三十是配电变压器消耗的，其余百分之十则消耗在配电线路上。所以，应该着重研究如何降低异步电动机和配电变压器消耗的无功功率。

为了减少异步电动机的无功功率消耗量，在运行中要求